

(19) Japan Patent Office (JP)

(12) Publication of Patent Application (A)

(11) Patent Application Publication No.:

5-226790

5

(43) Publication Date: September 3, 1993

(51) Int. Cl.⁵ Identification symbol FI

H01S 3/23

H01L 21/268 B 8617- 4M

10 21/324 D 8617- 4M

H01S 3/081 8934- 4M

8934- 4M H01S 3/23

Request for Examination: Not Requested Number of Claims: 3 (6 pages in total)

15 (21) Application Number: 4-30377

(22) Filing Date: February 18, 1992

(71) Applicant: 000005108

Hitachi, Ltd.

4-6, Kandasurugadai, Chiyoda-ku, Tokyo

20 (72) Inventor: Kiwamu TAKEHISA

c/o Hitachi Research Laboratory, Hitachi Ltd.,

4026, Kujicho, Hitachi-shi, Ibaraki

(72) Inventor: Kazuhiro OGAWA

c/o Hitachi Research Laboratory, Hitachi Ltd.,

25 4026, Kujicho, Hitachi-shi, Ibaraki

(72) Inventor: Koji KUWABARA

c/o Hitachi Research Laboratory, Hitachi Ltd.,

4026, Kujicho, Hitachi-shi, Ibaraki

(74) Agent: Katsuo OGAWA, Attorney

Continued on last page

(54) [Title of the Invention] LASER ANNEALING APPARATUS

(57) [ABSTRACT]

5 [Object] To reduce an annealing time by decreasing the number of scanning operations with a laser light in laser annealing using CW laser light.

[Structure] CW beams of laser light 2a, 2b, 2c, and 2d in the ultraviolet range are outputted from laser devices 1a, 1b, 1c, and 1d. The directions of polarization of the beams of laser light 2a and 2b are orthogonal to that of the beams of the laser light 2c and 2d, and the beams 10 are coupled in such a manner that the beams overlap with each other by means of a polarizing beam splitter 6. The coupled beams pass through a cylindrical lens 7, and are then concentrated on a substrate 10.

[Effect] This prevents characteristics of boundaries between different areas which are exposed to laser light from being degraded. Even when the entire surface of the substrate is 15 annealed, it is possible to greatly reduce the number of scanning operations of a laser light, so that an annealing time can be reduced.

[Scope of Claims]

[Claim 1] A laser annealing apparatus comprising:

20 a plurality of laser devices each of which produces continuous outputs with a wavelength of 0.4 micron or less;

a polarizing beam splitter which couples a plurality of laser beams obtained from the laser devices; and

an optical system which concentrates laser light into a line.

25 [Claim 2] The laser annealing apparatus including nonlinear optical crystals inside resonators in the laser devices in claim 1.

[Claim 3] A laser annealing apparatus comprising:

a laser device which produces continuous outputs with a wavelength of 0.4 micron or less; and

an optical system which concentrates laser light into a line.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

5 [Industrial Field of Application] The present invention relates to a laser annealing apparatus, particularly to an apparatus for annealing a film formed of silicon (hereinafter referred to as Si).

[0002]

[Conventional Art] As one of general means for recrystallizing an amorphous silicon Si
10 (hereinafter referred to as a-Si) film, there is laser annealing and studies aimed at increasing electron mobility of thin film transistors (hereinafter referred to as TFTs) (referred to as "electron mobility improvement") by laser annealing are done. According to the studies, after an a-Si film to be a channel layer can be deposited in a non-crystalline (namely amorphous) state, it can be irradiated with laser light to be reformed into polycrystal.
15 Alternatively, polycrystalline Si (hereinafter referred to as p-Si) can be irradiated with laser light to obtain higher mobility.

[0003] Conventionally, for this kind of laser annealing, an excimer laser or an argon ion laser (hereinafter referred to as Ar laser) have been used.

[0004] In the case of using an excimer laser, when a substrate is irradiated with obtained
20 pulsed laser light, only an area of a square, approximately several millimeter on a side can be annealed generally by one time irradiation. Therefore, in order to anneal a whole substrate generally having a size of several tens of square centimeters, an area to be irradiated with each pulse of a laser beam is changed to cover the entire surface.

[0005] Further, in the case of using an Ar laser, laser light is required to be concentrated
25 small using a lens to increase intensity of the laser light to be applied, for the following two reasons.

[0006] Since laser light obtained from an Ar laser has a continuous output (hereinafter referred to as CW) of approximately several W, which is lower by several orders of magnitude compared to the power of an excimer laser having a peak power of several MW

or more. Further, the oscillation wavelength of an Ar laser is 488 nm or 514.5 nm of which light absorption coefficient with respect to Si is low as approximately $10^4/\text{cm}$ as can be seen from light absorption properties (with respect to the wavelength 514.5 nm, a value indicated by an arrow on the right side in the diagram) of a-Si shown in FIG. 3. Accordingly, the
5 laser light penetrates to a portion deeper (as deep as approximately 1 micron) than a portion in the film, which is required to be annealed, so that energy of laser light, which is actually used for annealing is reduced.

[0007] In view of the above, the laser light is necessarily concentrated to a small spot having a diameter of approximately several tens of microns or less to increase the intensity of the
10 laser light to approximately 10^5 W/cm^2 . The substrate has been moved while being irradiated with the laser light, thereby scanning the area to be annealed, with the laser light.

[0008]

[Problems to be Solved by the Invention] In the above conventional method, there has been a problem below in a method using an excimer laser.

15 [0009] When pulsed laser light is applied to a substrate, the beam intensity distribution is uniformed with a beam homogenizer, so that pulses of the laser light slightly overlap with each other. As a result, there would be an area irradiated with the pulsed light twice, which makes electrical characteristics vary at the area in the substrate.

[0010] Further, in a method using an Ar laser, there has been a problem explained below.
20 That is, since irradiation is performed with a small spot diameter of approximately several tens of microns, a thin band having a width of approximately several tens of microns is annealed by one time scanning. Therefore, in order to anneal the entire surface of the substrate, several thousand times of scanning is required, which has been a problem in terms of throughput.

25 [0011] An object of the present invention is to solve the problems described above.

[0012]

[Means to solve the problems] In order to achieve the object, the present invention includes a laser device which produces CW laser light having a wavelength of 0.4 micron or less and an optical system which concentrates laser light to a linear shape.

[0013] Further, the present invention includes at least two such laser devices as above in order to reduce the number of scannings and to perform annealing uniformly, and a plurality of laser beams obtained from them were coupled using a polarizing beam splitter.

5 [0014] Further, the present invention includes a nonlinear optical crystal inside a resonator in the laser device in order to obtain high output CW laser light having a wavelength of 0.4 micron or less, prevent losses of the laser light when the beams of laser light are coupled with the polarizing beam splitter, and make the width of the laser light, which is concentrated by the optical system which gathers a laser light into a line, be 10 micron or less.

10 [0015]

[operation] First, in the present invention, since CW laser light is used, annealing can be performed continuously by scanning the substrate or laser light; thus, the problem of variation in electrical characteristics which is caused due to the overlapping of pulses does not arise unlike in the case of using the excimer laser.

15 [0016] Further, when the wavelength is 0.4 micron or less, as shown in FIG. 3, absorption coefficient of light with respect to a-Si increases rapidly compared to the absorption coefficient in the case of using an Ar laser by one order of magnitude or more. Accordingly, laser light to be applied penetrates the silicon film to only approximately 100 nm, and power of the laser beam to be absorbed into a portion in the film required to be annealed, 20 which has a thickness of several tens of nm becomes ten times or higher. Therefore, an area which is ten times or more the area of the spot to which light is concentrated using an Ar laser can be irradiated at a time.

25 [0017] Consequently, the width of an area to be scanned at a time can be ten times or more thicker than conventional, which makes it possible to reduce the number of scannings to one tenth or below; thus, the annealing time can be reduced significantly.

[0018] Therefore, when a plurality of laser beams are used and coupled as follows, laser light which is concentrated by a cylindrical lens or the like which is an optical system concentrating laser light into a line can be made to have substantially uniform intensity distribution.

[0019] That is, when two laser beams of the plurality of laser beams are considered, if their polarization directions are orthogonal, they can be coupled using a polarizing beam splitter so that the laser beams travel in an overlapping manner with little loss. Thus, when they are coupled so that an end portion of one of the beams of laser light is superimposed on a 5 center portion of the other beams of light, the superimposed laser light comes to have uniform intensity distribution.

[0020] Further, in annealing which requires high output of several hundreds of mW or more, when CW laser light having a wavelength of 0.4 micron or less is used, it is advantageous to use the second harmonic of an Ar laser, a krypton laser, a solid-state laser using a crystal 10 containing trivalent chromium ions, such as an alexandrite laser, or the like which are capable of CW lasing at a wavelength from 0.5 micron to 0.8 micron than a helium cadmium laser (having a wavelength of 0.325 nm, which outputs only several tens of mW) fundamentally lasing in the ultraviolet region because higher output can be obtained more easily.

15 [0021] Further, when the second harmonic is generated, in wavelength conversion where a nonlinear optical crystal is included inside a resonator in the laser device, which is called internal wavelength conversion, since only laser light of the second harmonic is obtained outside excluding the laser light of the original wavelength (hereinafter referred to as fundamental wave), there is no energy loss at a time of coupling using the polarizing beam 20 splitter.

[0022] Further, also since the second harmonic is perfectly linearly polarized light, the coupling can be performed without loss by using the polarizing beam splitter.

[0023] In addition, in the wavelength conversion, since the conversion efficiency is higher 25 when the fundamental wave is in a low order mode close to a single mode, and the second harmonic is also in a low order mode close to a single mode. In a low order mode, since beam divergence angle is extremely small, when light is concentrated using a lens, it is easy to concentrate light to a small spot of approximately 10 micron or less. Accordingly, the width of the light concentrated using a cylindrical lens or the like can be made further smaller than several tens of microns that is a conventional spot diameter by approximately

one order of magnitude. Therefore, the width in the direction in which the laser light is not narrowed, can be made longer approximately tenfold, and the area which can be annealed by one time scanning can be further increased approximately tenfold.

[0024]

5 [Embodiment] Hereinafter, embodiments of the present invention will be described with reference to the drawings.

[0025] FIG. 1 is an illustrative diagram of a laser annealing apparatus 100 as a first embodiment of the present invention.

10 [0026] The laser annealing apparatus 100 is used to recrystallize an a-Si film on a surface of a substrate 10 having dimensions of a square, approximately 10 cm on a side.

[0027] Laser devices 1a, 1b, 1c, and 1d are internal wavelength conversion type each using $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$ which is a nonlinear optical crystal for an Ar laser, and beams of CW laser light 2a, 2b, 2c, and 2d of the second harmonic having a wavelength of 257 nm are obtained. These laser beams each have a beam diameter of approximately 4 mm, and the output is
15 approximately 0.5 W. Further, the direction of polarization is in a horizontal direction as indicated by an arrow in the diagram (this is referred to as a P-wave).

[0028] Among those four beams of laser light, the polarization direction of the beams of laser light 2a and 2b are rotated by 90 degrees after transmitted through wave plates 3a and 3b to be in a polarization direction in a vertical direction (this is referred to as an S-wave).

20 [0029] After the beams of laser light are reflected by small mirrors 4a, 4b, 4c, and 4d; beams of laser light 2c' and 2d' are reflected by a large mirror 5a and enters a polarizing beam splitter 6. At that time, since the beams of laser light 2c' and 2d' are P-waves, they have high transmittance of 99 % or more through the polarizing beam splitter 6. On the other hand, since beams of laser light 2a' and 2b' are S-waves, they have high reflectance of
25 99 % or more on the polarizing beam splitter 6. Consequently, adjacent beams of four beams of laser light 2a'', 2b'', 2c'', and 2d'' overlap with each other as shown in the diagram.

[0030] By the way, in the case of overlapping the beams of the laser light using the polarizing beam splitter 6, if the beams of the laser light 2a', 2b', 2c', and 2d' includes a fundamental wave having a wavelength of 514.5 nm, efficiency in combining laser light is

reduced as described below.

[0031] In general, in the case of using a polarizing beam splitter, when the polarization direction is controlled, reflectance of 99 % or more with respect to P-waves and transmittance of 99 % or more with respect to S-waves are obtained, whereby coupling can

5 be performed without loss. However, since the reflectance or transmittance corresponds to a certain wavelength, when the wavelength varies, the P-wave is reflected and the ratio of S-wave transmission increases.

[0032] Contrarily, in the present invention, laser devices of interior wavelength conversion type is used as light sources; therefore, a fundamental wave is not taken out of the resonator.

10 Thus, the laser beams 2a', 2b', 2c', and 2d' can be coupled by a polarizing beam splitter 6 with a loss of approximately 1 %.

[0033] Further, since the beams of laser light 2a', 2b', 2c', and 2d' are second harmonics and are linearly polarized, they can be combined by the polarizing beam splitter 6 without loss. On the other hand, also because light is randomly polarized easily when output is

15 high, a conventional excimer laser, Ar laser, helium cadmium laser, or the like are not suitable as a light source of the present invention.

[0034] After those coupled beams of laser light 2a'', 2b'', 2c'', and 2d'' are reflected by the large mirror 5b, they enter the cylindrical lens 7 which is a kind of optical systems and the laser light is concentrated to a line on the substrate 10.

20 [0035] In the mean time, when laser light is concentrated using an ordinary lens without using the cylindrical lens 7 or the like and the laser beam oscillates in a low order mode, at a position adjacent to a focus where light is most concentrated; a spot diameter would generally be approximately several tens of microns or less. Therefore, when irradiation is performed aside from a focus of the concentrated light in order to increase irradiation area,

25 problems to be described below will arise.

[0036] When the focus is above a surface of the substrate, light is focused in the air, so that there are cases where gas in the air is plasmatized or dielectric breakdown occurs.

[0037] Further, when the focus is below the surface of the substrate, as laser light travels downward in the substrate, it is narrowed, whereby damage may be caused inside the

substrate.

[0038] Contrarily, in the case of using the cylindrical lens 7 or the like, laser light is concentrated in only one direction; thus, even when the width of light concentration is several tens of microns, width in the direction orthogonal to that is equal to the diameter of the original laser beam. Accordingly, it is easy to make area where light is concentrated be ten times the area where light is concentrated by an ordinary lens or more.

[0039] Further, the beam diameter of each of the four beams of laser light is approximately 4 mm; however, since the beams overlap, the width of the concentrated light will be approximately 10 mm. Therefore, since the width of the concentrated light is narrowed to approximately 10 micron, the area to be irradiated with the laser light will be approximately 0.001 cm^2 . Accordingly, laser light intensity is approximately 2000 W/cm^2 , which is lower than 10^5 W/cm^2 . However, absorption coefficient of Si with respect to light having a wavelength of 257 nm is approximately $10^6/\text{cm}$ as indicated by an arrow on the left in FIG. 3; which is higher than that with respect to the fundamental wave of the Ar laser by approximately two orders of magnitude. As a result, even when the laser light intensity is lower, energy of the laser is sufficiently supplied into the a-Si film on the surface, and the film can be annealed.

[0040] Further, the substrate 10 is placed on an XY stage 8, and when the substrate 10 is moved back and forth, scanning of laser light for irradiation can be performed. The substrate 10 has approximately 10 cm on one side. An area 11 having a width of approximately 10 mm in the drawing is annealed by one time scanning; thus, the entire surface can be annealed by ten times of scannings in total. Further, the present invention is especially suitable for the case below.

[0041] When an active matrix liquid crystal display in which TFTs, a transparent electrode, scan lines, and signal lines are arranged on a glass substrate which is 35 cm wide and 45 cm long as the substrate 10, a driver circuit is provided internally on the same substrate as pixels. In such a case, since this driver circuit requires high speed operation, it does not operate with an electron mobility of approximately $0.5 \text{ cm}^2/\text{V}$ unlike the case of an a-Si TFT. Accordingly, circuit portion is required to have higher mobility. Therefore, after an a-Si

film is deposited on the entire surface of the substrate by plasma CVD (referring to chemical vapor deposition) method, the circuit portion is laser annealed.

[0042] In this case, since a circuit region has a width of approximately from 5 mm to 10 mm, this region can be annealed by one time scanning by using the laser annealing apparatus 100
5 of this embodiment.

[0043] Next, in this embodiment, laser light intensity distribution at an area where light is concentrated to a line on the substrate will be explained with reference to FIG. 2.

[0044] In FIG. 1, among the beams of laser light 2a', 2b', 2c', and 2d', before they are coupled by the polarizing beam splitter 6, the laser light 2d' and the laser light 2c' travel in
10 parallel with such an intensity distribution as shown in FIG. 2A. Further, the laser light 2b'
and the laser light 2a' travel in parallel with such an intensity distribution as shown in FIG.
2B. Thus, each one beam of laser light 2a', 2b', 2c', and 2d' generally has an intensity
distribution with a shape in which intensity is high in the vicinity of the light axis at the
center of the light and low away from the center. Therefore, although the laser light is
15 narrowed to a line using an optical system for concentrating light, such as a cylindrical lens,
the intensity distribution is to be intense at the center portion and weak away from the
center at the position where light is concentrated.

[0045] In contrast, when the beams of laser light are coupled by the polarizing beam splitter
6, the beams of laser light 2b'', 2d'', 2a'', and 2c'' have such intensity distributions as shown
20 in FIG. 2C; thus, they are uniformed in a range of approximately 10 % or less. Even when
the coupled beams of laser light are concentrated on the substrate, the intensity distribution
is kept with the use of the cylindrical lens 7.

[0046] Thus, stable electrical characteristics can be obtained irrespective of any area in the
substrate to be annealed.

25 [0047]

The invention is structured as explained above; thus, there is no variation in
electrical characteristics at boundaries between different portions irradiated with laser light.
Further, even when the entire surface of the substrate is annealed, the number of scannings
of laser light can be reduced by one order of magnitude to two orders of magnitude or

more; accordingly, annealing time can be reduced.

[0048] In particular, in the case of manufacturing an active matrix liquid crystal display, when a laser annealing apparatus of the present invention is used for laser annealing in order to provide a driver circuit internally on the same substrate as pixels, uniform electrical characteristics can be obtained by one time scanning.
5

[0049] Further, the laser annealing apparatus of the present invention can be used other than annealing, for etching single crystal silicon, gallium arsenide, or the like utilizing a thermal effect of a laser . In such etching, conventionally, an Ar laser has been used; however, the wavelength is in the visible range; thus, there has been a problem as a problem in laser
10 annealing described above since absorptance of a substrate or a source gas is low. Contrarily, when the present invention is used, etching can be performed in a short time even uniformly.

[Brief Description of the Drawings]

15 [FIG. 1] An illustrative drawing of a laser annealing apparatus that is an embodiment of the present invention.

[FIG. 2] A distribution diagram of laser light intensity.

[FIG. 3] A diagram of light absorption properties of a-Si.

[Reference Numerals]

20 1a, 1b, 1c, and 1d: laser devices; 2a, 2b, 2c, 2d, 2a', 2b', 2c', 2d', 2a'', 2b'', 2c'', and 2d'': laser light; 3a and 3b: wave plates; 4a, 4b, 4c, and 4d: small mirrors; 5a and 5b: large mirrors; 6: a polarizing beam splitter; 7: cylindrical lens; 8: an XY stage; 10: a substrate; 11: an area to be annealed; 100: a laser annealing apparatus.

25

Continued from front page

(72) Inventor: Makoto YANO

c/o Hitachi Research Laboratory, Hitachi Ltd.,
4026, Kujicho, Hitachi-shi, Ibaraki

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-226790

(43)公開日 平成5年(1993)9月3日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
H 01 S 3/23				
H 01 L 21/268	B 8617-4M			
21/324	D 8617-4M			
H 01 S 3/081	8934-4M			
	8934-4M		H 01 S 3/ 23	
				審査請求 未請求 請求項の数3(全 6 頁)

(21)出願番号	特願平4-30377	(71)出願人	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
(22)出願日	平成4年(1992)2月18日	(72)発明者	武久 実 茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社日立製作所日立研究所内
		(72)発明者	小川 和宏 茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社日立製作所日立研究所内
		(72)発明者	桑原 皓二 茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社日立製作所日立研究所内
		(74)代理人	弁理士 小川 勝男
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 レーザアニール装置

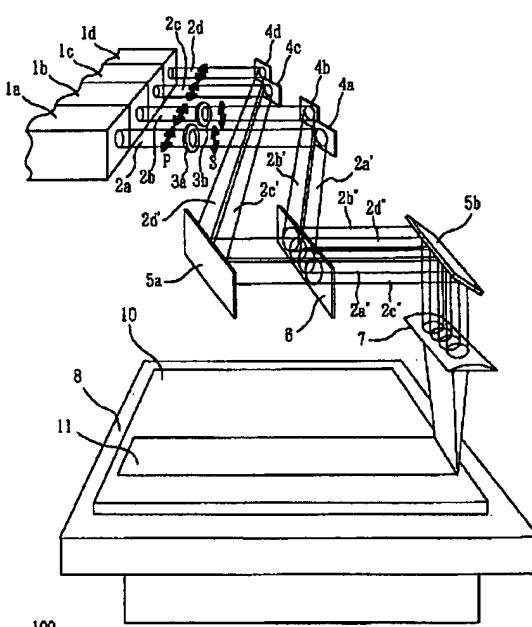
(57)【要約】

【目的】 CWレーザ光によるレーザアニールにおいて、レーザ光のスキャン回数を減らして、アニールの時間を短縮する。

【構成】 レーザ装置1a, 1b, 1c, 1dから取り出されるCWで紫外域のレーザ光2a, 2b, 2c, 2dが取り出される。レーザ光2a, 2bと、レーザ光2c, 2dとは、偏光方向が直交し、偏光ビームスプリッタ6により、ビームが重なる様に結合され、シリンドリカルレンズ7を通って、基板10上に集光される。

【効果】 レーザ光が照射される異なる部分の間の境界における特性の悪化が無く、また、基板全面をアニールする場合でも、レーザ光のスキャン回数を大幅に減らすことができ、アニール時間が短縮できる。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項1】波長0.4ミクロン以下の連続出力を発生する複数台のレーザ装置、前記レーザ装置から取り出される複数本のレーザビームを結合させる偏光ビームスプリッタおよびレーザ光を線状に集光する光学系を含むことを特徴とするレーザアニール装置。

【請求項2】請求項1において、前記レーザ装置の共振器の内部に非線形光学結晶を含むレーザアニール装置。

【請求項3】波長0.4ミクロン以下の連続出力を発生するレーザ装置と、レーザ光を線状に集光する光学系とを含むことを特徴とするレーザアニール装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明はレーザアニール装置に係り、特に、シリコン（以下S iと示す。）から成る膜をアニールするための装置に関する。

【0002】

【従来の技術】一般にアモルファスシリコンS i（以下a-S iと示す。）膜を再結晶化させる一つの手段として、レーザアニールがあり、これにより薄膜トランジスタ（以下TFTと示す。）の電子移動度を高くする（高移動度化と呼ばれる。）研究が行われている。これによると、チャネル層となるS i膜を非晶質（アモルファスのことである。）状態で堆積した後、レーザ光を照射して、多結晶に改質したり、あるいは、多結晶S i（以下p-S iと示す。）に照射して、より高移動度化させることができる。

【0003】従来、この種のレーザアニールには、エキシマレーザや、アルゴンイオンレーザ（以下Arレーザと示す。）が用いられてきた。

【0004】エキシマレーザを用いる場合は、取り出されるパルスレーザ光を、基板に照射する際に、一回の照射では、通常、数ミリ角程度の部分しかアニールできないため、一般に数十センチメートル四方の大きさである基板全体をアニールするにはレーザ光をパルスごとに照射する位置を変えて、全面に行き渡る様にする。

【0005】また、Arレーザを用いる場合は、以下で説明する二つの理由から、照射させるレーザ光の強度を高くするために、レーザ光をレンズにより小さく集光させる必要がある。

【0006】Arレーザから取り出されるレーザ光は、数W程度の連続出力（以下CWと示す。）であるため、数MW以上のピークパワーを有するエキシマレーザに比べてパワーが数桁も小さい。また、Arレーザの発振波長は、488nmあるいは514.5nmであるが、これらの波長では、図3に示したa-S iの光吸収特性（波長514.5nmに対しては、図中で右側の矢印で示した値である。）から分かるように、S iに対する光の吸収係数が $10^4/cm$ 程度と小さい。その結果、アニールさせる必要がある膜内よりも深い所（およそ1ミク

ロン程度にもなる。）まで、レーザ光が浸透してしまい、実際にアニールに利用されるレーザ光のエネルギーは少なくなる。

【0007】以上から、レーザ光を直径数十ミクロン以下の小さなスポットに集光させて、レーザ光強度をおよそ $10^6 W/cm^2$ 程度に高める必要がある。そしてレーザ光を照射させながら、基板を動かすことで、アニールさせる部分にレーザ光をスキャンさせていた。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】上記従来法において、エキシマレーザを用いる方法では、以下に説明する問題があった。

【0009】基板上にパルスレーザ光が照射する際に、ビームホモジナイザにより、ビームの強度分布を均一化して、パルス毎にレーザ光が僅かに重なり合う様に照射する。その結果、パルス光が2度照射される部分が生じ、この部分では、基板内で電気的特性がばらつくことがあった。

【0010】また、Arレーザを用いる方法では、以下に説明する問題があった。すなわち、直径数十ミクロン程度に小さいスポット径で照射させるため、1回のスキャンでは、数十ミクロン程度に細い帯状にアニールされるため、基板全面をアニールするには、数千回もスキャンする必要があり、スループットの点が問題となっていた。

【0011】本発明の目的は以上で説明した問題を解決することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記の目的を解決するために、本発明は波長0.4ミクロン以下のCWレーザ光を発生するレーザ装置と、レーザ光を線状に集光する光学系とを含む。

【0013】また、スキャンする回数を減らし、しかも均一にアニールできる様に、前記レーザ装置を少なくとも2台含み、それらから取り出される複数本のレーザビームを偏光ビームスプリッタを用いて結合させた。

【0014】また、波長0.4ミクロン以下のCWレーザ光を高出力で得るため、及び前記偏光ビームスプリッタによりレーザ光を結合する際に、レーザ光が損失を受けない様にするため、及び、前記レーザ光を線状に集光する光学系によって絞られる集光幅を10ミクロン以下にするために、前記レーザ装置の共振器内部に非線形光学結晶を含んだものである。

【0015】

【作用】先ず、本発明では、CWレーザ光を用いるため、基板あるいはレーザ光のスキャンにより、連続的にアニールでき、前記エキシマレーザを用いた場合の様に、パルス毎の重なりが原因となる電気的特性のばらつきの問題は生じない。

【0016】また、波長が0.4ミクロン以下になる

と、図3から分かるように、 $a-S_i$ に対する光の吸収係数は急激に増加し、Arレーザの場合の吸収係数に比べて、1桁以上も高くなる。その結果、照射されるレーザ光はシリコン膜中におよそ100nm程度しか浸透せず、アニールする必要のある膜厚の数十nmの間に吸収されるレーザ光のパワーが十倍以上に高くなる。したがって、Arレーザで集光させるスポットの面積の十倍以上の面積を一度に照射させることができる。

【0017】その結果、1回のスキャンで、照射される幅が従来の十倍以上に太くでき、スキャンの回数が1/10以下に減らすことができ、アニールの時間を大幅に短縮することができる。

【0018】そこで、複数本のレーザビームを用いて以下の様に結合すれば、レーザ光を線状に集光する光学系であるシリンドリカルレンズ等で集光されるレーザ光を、ほぼ均一な強度分布にすることができる。

【0019】つまり、複数本のレーザビームの中の2本のレーザビームについて考えると、偏光方向を互いに直交させるならば、それらを偏光ビームスプリッタを用いて、ほとんど損失無く、レーザビームを重ねて進む様に、結合させることができ。そこで一方のレーザ光の周辺部と、もう一方のレーザ光の中心部とを重ねるよう結合させると、重ね合わされたレーザ光は均一な強度分布をもつ様になる。

【0020】また、数百mW以上の高出力が必要となるアニールでは、波長0.4ミクロン以下のCWレーザ光を用いる場合、波長0.5ミクロンから0.8ミクロンの間でCW発振できるArレーザやクリプトンレーザ、あるいはアレキサンドライトレーザ等3価のクロムイオンを含んだ結晶を母体とする固体レーザ等の第2高調波を用いる方が、高出力化が容易なため、紫外域で直接CW発振するヘリウムカドミウムレーザ（波長0.325nmであり、出力は数十mWしか出ない。）を用いるよりも有利である。

【0021】また、この第2高調波を発生させる時に、レーザ装置の共振器内部に非線形光学結晶を含む内部波長変換型と呼ばれる波長変換では、共振器外部に取り出されるレーザ光は第2高調波だけであり、元の波長のレーザ光（以下基本波と呼ぶ。）を含まないため、偏光ビームスプリッタで結合させる時に、エネルギー的に損失はない。

【0022】また、第2高調波は完全な直線偏光であることからも、偏光ビームスプリッタを用いて、損失無く結合させることができる。

【0023】さらに、波長変換では、基本波がシングルモードに近い低次モードである方が変換効率が高くなるため、第2高調波もシングルモードに近い低次モードである。低次モードではビーム拡がり角が極めて小さいため、レンズで集光すると、10ミクロン以下程度の小さなスポットに集光させることができ。それによる

と、シリンドリカルレンズ等で集光した時の集光幅が、従来のスポット径の数十ミクロンよりもさらに1桁程度小さくできる。したがってレーザ光を絞らない方向の幅は、さらに十倍程度長くすることができ、1回のスキャンでアニールできる面積をさらに十倍程度拡げができる。

【0024】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面を用いて説明する。

【0025】図1は、本発明の第1実施例として、レーザアニール装置100の説明図である。

【0026】レーザアニール装置100は、寸法約10cm角の基板10の表面の $a-S_i$ 膜を再結晶化するために用いられている。

【0027】レーザ装置1a, 1b, 1c, 1dは、どれもArレーザに、非線形光学結晶である $\beta-BaB_2O_4$ を用いた内部波長変換型であり、第2高調波である波長257nmのCWのレーザ光2a, 2b, 2c, 2dが取り出される。これらのレーザ光はビーム径が約4mmであり、出力は約0.5Wである。また、偏光方向は図中で矢印で示した様に、水平方向（これをP波と呼ぶ。）になっている。

【0028】これら4本のレーザ光の内、レーザ光2a, 2bは、波長板3a, 3bを通ることで偏光方向が90度回転し、垂直方向の偏光方向（これをS波と呼ぶ。）になる。

【0029】それぞれのレーザ光は、小型ミラー4a, 4b, 4c, 4dで反射後、レーザ光2c' と 2d' は、大型ミラー5aで反射して、偏光ビームスプリッタ6に入射する。この時、レーザ光2c', 2d' はP波であるため、偏光ビームスプリッタ6に対して、99%以上の高い透過率を有する。これに対して、レーザ光2a', 2b' はS波であるため、偏光ビームスプリッタ6に対して、99%以上の高い反射率を有する。その結果、4本のレーザ光2a'', 2b'', 2c'', 2d'' は、図の様に、隣り合うレーザ光どうしが重なりあう。

【0030】ところで、偏光ビームスプリッタ6を用いてレーザ光を重ね合わせる場合に、レーザ光2a', 2b', 2c', 2d' が波長514.5nmの基本波を含むと、レーザ光を結合できる効率が以下に説明する様に悪化してしまう。

【0031】一般に、偏光ビームスプリッタを用いる場合、偏光方向を調節すると、P波に対しては99%以上の反射率となり、S波に対しては99%以上の透過率を持たせることができ、損失無く結合させることができ。ところが、それらはある特定の波長に対しての反射率、透過率であるため、波長が変化すると、P波が反射し、S波が透過する割合が増えてしまう。

【0032】これに対して本発明では、内部波長変換方式のレーザ装置を光源として用いているため、基本波は

共振器外部に取りだされないことから、偏光ビームスプリッタ6により、レーザ光2a'，2b'，2c'，2d'を1%以下程度の損失で結合できる。

【0033】また、レーザ光2a'，2b'，2c'，2d'は、第2高調波であるため、直線偏光であることからも、偏光ビームスプリッタ6により損失無く結合させることができる。これに対して、従来のエキシマレーザ、Arレーザ、あるいはヘリウムカドミウムレーザ等では、高出力化させると、ランダム偏光に成りやすいことからも、本発明の光源としては適さない。

【0034】これら結合されたレーザ光2a"，2b"，2c"，2d"は大型ミラー5bで反射後、レーザ光を線状に集光する光学系の一種としてシリンドリカルレンズ7に入射し、基板10に対して線状に集光される。

【0035】ところで、シリンドリカルレンズ7等を用いずに、通常のレンズを用いてレーザ光を集光せると、そのレーザ光が低次モードで発振していると、最も集光される焦点位置付近では、一般に、数十ミクロン以下程度のスポット径になってしまふ。そこで、照射面積を大きくするために、集光される焦点の位置から外して照射させようとするならば、以下に述べるような問題が生じてしまう。

【0036】焦点が基板の表面より上方に位置する様にすると、空气中で焦点が結ばれるため、空気中の気体がプラズマ化したり、絶縁破壊が生じたりすることがある。

【0037】また、焦点が基板の表面より下方に位置する様にすると、基板中で下方に進むにつれてレーザ光が絞られていくため、基板の内部でダメージが起こることがある。

【0038】これに対して、シリンドリカルレンズ7等では、一つの方向にしかレーザ光が集光されないため、集光幅が数十ミクロンになつても、これと直交する方向は、元のレーザビームの径と等しい。それにより、集光される面積を、普通のレンズで集光したときの面積の十倍以上にすることは容易である。

【0039】また、4本のレーザ光のビーム径はどれも約4mmであるが、各ビームが重なつてゐるため、集光幅はおよそ10mmになる。その結果、集光される幅は、約10ミクロン程度まで絞られているため、レーザ光が照射される面積はおよそ 0.001cm^2 程度になる。その結果、レーザ光強度はおよそ 2000W/cm^2 程度になり、従来の 10W/cm^2 より小さい。しかし波長257nmの光に対するSiの吸収係数は、図3中で左側の矢印で示した様に、およそ $10^6/\text{cm}$ であり、Arレーザの基本波の場合より2桁程度高い。そのため、レーザ光強度が低くなつても、表面のa-Si膜内にはレーザのエネルギーが十分入り、アニールすることができる。

【0040】また、基板10はXYステージ8上に置か

れており、基板10を前後左右に移動することで、照射されるレーザ光をスキャンすることができる。この基板10は一辺が約10cmあるが、1回のスキャンで約10mmの幅である図中で11の部分がアニールされ、合計10回のスキャンで全面をアニールすることができる。また、本発明は特に以下の場合に適している。

【0041】基板10として、縦35cm、横45cm程度のガラス基板上に、TFT、透明電極、走査線、及び信号線を配したアクティブマトリクス方式の液晶ディスプレイを製作する場合では、駆動用回路を画素と同一基板上に内蔵することが行われている。その場合、この駆動用回路は高速動作を必要とするため、a-SiのTFTの様に、電子移動度が $0.5\text{cm}^2/\text{V s}$ 程度では動作しない。そのため、回路部を高移動度化する必要がある。そこで、基板全面にプラズマCVD（化学的気相成長を意味する。）法で、a-Si膜を堆積した後、回路部をレーザアニールすることが行われている。

【0042】この場合、回路領域は、5mmから10mm程度の幅を有するため、本実施例のレーザアニール装置100を用いれば、1回のスキャンでこの領域をアニールすることができる。

【0043】次に、この実施例において、基板10上で線上に集光される部分でのレーザ光強度分布を、図2を用いて説明する。

【0044】図1において、レーザ光2a'，2b'，2c'，2d'の内、偏光ビームスプリッタ6で結合される前は、レーザ光2d'とレーザ光2c'とは、図2(A)に示した様な強度分布になって平行に進んでいる。また、レーザ光2b' とレーザ光2a' とは、図2(B)に示した様な強度分布になって平行に進んでいる。この様に、それぞれ1本のレーザ光2a'，2b'，2c'，2d'の強度分布としては、一般にビームの中心の光軸付近が強く、周辺部が弱い形状になるため、レーザ光をシリンドリカルレンズ等のレーザ光を線状に集光する光学系で絞つても、集光される位置では、中心部が強く、周辺部が弱い強度分布になつてしまふ。

【0045】これに対して、偏光ビームスプリッタ6でこれらのレーザ光が結合されると、レーザ光2b"，2d"，2a"，2c"は、図2(C)に示した様な強度分布となり、両側を除けば約10%以下の範囲で均一化される。この結合されたレーザ光は、シリンドリカルレンズ7により、基板上に集光されても、この強度分布を保つてゐる。

【0046】これによって、アニールされる基板の電気的特性が、場所によらずに安定して得られる様になつた。

【0047】

【発明の効果】本発明は、以上で説明した様に構成されているため、レーザ光が照射される異なる部分の間の境界における電気的特性のばらつきが無く、また、基板全

面をアニールする場合でも、レーザ光のスキャン回数を従来より1桁から2桁以上も減らすことができ、アニールの時間が短縮できる。

【0048】特に、アクティブマトリクス方式の液晶ディスプレイを製作する場合、駆動用回路を画素と同一基板上に内蔵するために行うレーザアニールに、本発明のレーザアニール装置を用いれば、1回のスキャンで、均一な電気的特性が得られる様になる。

【0049】また、本発明のレーザアニール装置を用いると、アニール以外でも、レーザの熱的効果を利用して単結晶シリコンや、ガリウムヒ素等のエッティングにも利用することができる。これらのエッティングでは、従来Arレーザが用いられていたが、波長が可視域であるため、基板や、原料ガスへの吸収率が悪く、レーザアニールにおける前述した問題と同様な問題があった。これに

対して、本発明を利用すれば、短時間にしかも均一にエッティングすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例であるレーザアニール装置の説明図。

【図2】レーザ光強度分布図。

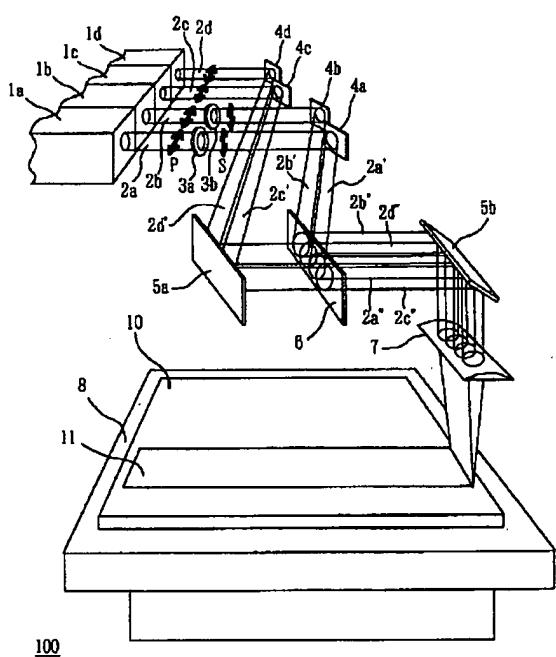
【図3】a-Siの光吸收特性図。

【符号の説明】

1a, 1b, 1c, 1d…レーザ装置、2a, 2b, 2c, 2d, 2a', 2b', 2c', 2d', 2a'', 2b'', 2c'', 2d''…レーザ光、3a, 3b…波長板、4a, 4b, 4c, 4d…小型ミラー、5a, 5b…大型ミラー、6…偏光ビームスプリッタ、7…シリンドリカルレンズ、8…XYステージ、10…基板、11…アニールされる部分、100…レーザアニール装置。

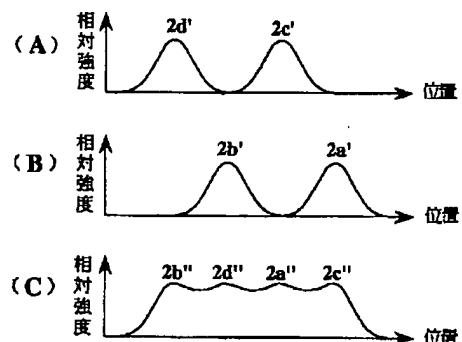
【図1】

図1



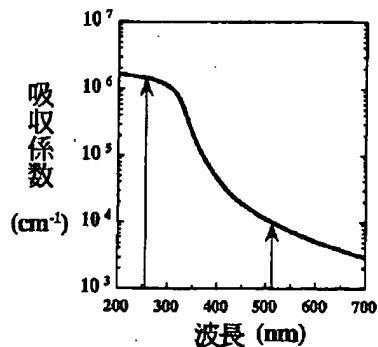
【図2】

図2



【図3】

図3



フロントページの続き

(72)発明者 矢野 真

茨城県日立市久慈町4026番地 株式会社日

立製作所日立研究所内